

Применение системы быстрого прототипирования «СВЧ КИТ» для ускорения разработки и внедрения ЭКБ СВЧ

О.В. Григорьев^{1,2}, М.В. Селиванов^{1,3}, Д.И. Гаранович¹, К.М. Огурцова⁴

¹ООО «ИПК «Электрон-Маш»

²Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

³Университет науки и технологий «МИСИС»

⁴ООО «СВЧ КИТ»

Аннотация: В статье рассмотрены направления деятельности компании ООО «ИПК «Электрон-Маш» как разработчика и производителя отечественной СВЧ-электронной компонентной базы (ЭКБ). Показано, что расширение номенклатуры сопровождается ростом затрат на экспериментальную отладку и измерения. Для решения этой проблемы предложена система быстрого прототипирования радиотрактов «СВЧ КИТ», позволяющая существенно сократить сроки разработки и экспериментальной отладки за счёт модульности и переиспользования готовых блоков. Показана эффективность применения «СВЧ КИТ» для тестирования радиотракта на основе отечественной ЭКБ.

Ключевые слова: СВЧ КИТ, быстрое прототипирование, СВЧ-тракты, GaN СВЧ-усилители мощности, схемы управления питанием, модульная измерительная оснастка

1. Введение

Современные задачи локализации производства и обеспечения технологического суверенитета в сфере радиоэлектроники требуют не только создания отечественной ЭКБ, но и кратного сокращения сроков её внедрения в конечные устройства. Ключевым ограничением остаётся длительный цикл экспериментальной отладки, традиционно требующий индивидуальных отладочных плат для каждого изделия.

Особенно остро эта проблема стоит для сложных функциональных узлов СВЧ ЭКБ, в том числе GaN/GaAs-усилителей мощности (УМ), для безопасной эксплуатации которых необходимы специализированные схемы управления питанием, являющиеся отдельным классом устройств [1,2]. Общепринятым подходом при отладке подобных трактов является применение зарубежной ЭКБ, что требует коррекции в условиях перехода на отечественную компонентную базу.

В данной работе представлена платформа быстрого прототипирования «СВЧ КИТ» [3], предназначенная для ускорения разработки и продвижения российской СВЧ ЭКБ.

2. Обзор деятельности компании

Компания ООО «ИПК «Электрон-Маш» является разработчиком и производителем широкого спектра СВЧ ЭКБ: усилителей мощности [4], схем управления питанием, преобразователей сигналов, синтезаторов частот и других компонентов. Расширение номенклатуры изделий, различающихся по электрическим и конструктивным параметрам, обуславливает рост временных и материальных затрат на экспериментальную отладку при традиционном подходе — разработке индивидуальной отладочной платы для каждого изделия. Это делает актуальным внедрение унифицированных инструментов прототипирования, обеспечивающих модульность и повторное использование аппаратных решений. Одним из таких

инструментов, применяемых в ООО «ИПК «Электрон-Маш», является система быстрого прототипирования СВЧ-трактов «СВЧ КИТ», результаты использования которой рассмотрены далее.

3. Результаты использования системы быстрого прототипирования в работе

Аппаратно платформа «СВЧ КИТ» состоит из секционного алюминиевого основания (доступны размеры 16x16, 16x32, 32x16, 32x32 ячеек), на которое монтируются СВЧ-блоки и разъёмы, соединяемые стандартными СВЧ-переходами. На обратную сторону основания устанавливаются платы питания и управления, коммутируемые через боковую плату. Набор блоков охватывает функциональные узлы от десятков МГц до 40 ГГц: усилители, аттенюаторы, фазовращатели, смесители, модуляторы/демодуляторы, синтезаторы, детекторы мощности, фильтры и коммутаторы [3]. На данный момент номенклатура блоков платформы включает более 80 наименований СВЧ-компонентов, плат питания и управления, а также соединительных элементов, что позволяет собирать тракты различной сложности без разработки специализированной оснастки. Данная архитектура обеспечивает многократное использование всех компонентов при макетировании различных конфигураций трактов.

Значительный объем разработок требует повышенной трудоёмкости в области отладки и измерения параметров изделий. Система быстрого прототипирования «СВЧ КИТ» позволяет сократить количество разрабатываемой оснастки за счёт переиспользования готовых блоков, плат управления и платформ. Таким образом, вместо разработки полноценной отладочной платы с элементами питания и управления, разъемами и большой печатной платой можно сделать блок, и подключить его к типовой схеме с готовыми блоками разъемов и платами питания и управления. Для помощи внешним разработчикам в разработке печатных плат под формат «СВЧ КИТ» в открытом доступе находится вся необходимая информация для создания своих печатных плат [5].

В качестве примера приведены результаты измерения радиотракта, собранного на платформе «СВЧ КИТ», включающего СВЧ-усилитель iPA-72-MB (1–6 ГГц, 3 Вт) и систему управления питанием (контроллер iPWR-503-M16 + модулятор iPWR-531-M16).

Измерения проводились в импульсном режиме при напряжении питания усилителя 28 В и управляющем ТТЛ-сигнале с длительностью импульса 100 мкс и скважностью 10. На частоте 2 ГГц при входной мощности 22 дБм выходная мощность составила 3,2 Вт (рисунок 1), что соответствует паспортным данным СВЧ-усилителя. При этом время нарастания импульса напряжения достигло 22 нс, время спада — 18 нс.

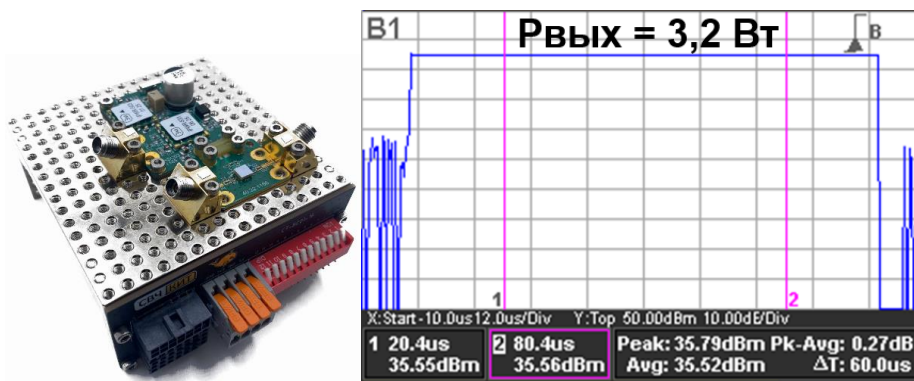


Рисунок 1. Фото измерительного тракта iPA-72-MB с системой управления питанием iPWR (слева) и огибающая радиоимпульса (справа)

Также «СВЧ КИТ» используется для отладки кристаллов и корпусированных микросхем. Такой метод отладки позволяет тестировать партии микросхем без разработки индивидуальной оснастки, сокращая время измерений за счёт унификации процедуры. Кроме того, имеющиеся блоки могут использоваться и для разработки полноценных радиочастотных трактов [6]. Помимо ускорения разработки, платформа «СВЧ КИТ» применяется для дооснащения учебных лабораторий, позволяя проводить лабораторные работы на отечественной СВЧ-компонентной базе, а также для локализации производства радиоаппаратуры.

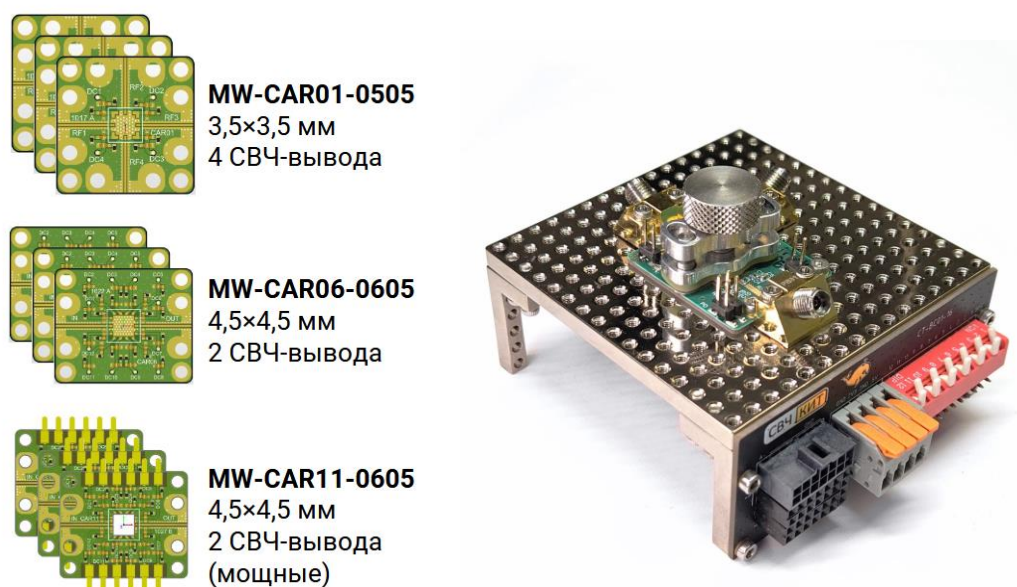


Рисунок 2. Внешний вид плат измерения кристаллов (слева) и оснастка для измерения корпусированных микросхем с прижимным устройством (справа)

4. Заключение

Применение системы быстрого прототипирования «СВЧ КИТ» при разработке СВЧ ЭКБ в ООО «ИПК «Электрон-Маш» показало, что модульный подход к макетированию радиотрактов позволяет отказаться от разработки индивидуальной отладочной платы для каждого изделия. Номенклатура из более чем 80 типов блоков, охватывающих диапазон от десятков МГц до 40 ГГц, обеспечивает возможность сборки трактов различной сложности с многократным использованием компонентов.

Корректность модульного подхода подтверждена экспериментально: собран и протестирован радиотракт на базе СВЧ-усилителя iPA-72-MB и системы управления питанием iPWR. Результаты измерений (выходная мощность 3,2 Вт на частоте 2 ГГц, время нарастания импульса 22 нс, спада — 18 нс) соответствуют паспортным данным усилителя.

Помимо макетирования радиотрактов, платформа применяется для тестирования партий кристаллов и корпусированных микросхем, а также для дооснащения учебных лабораторий. Перспективными направлениями развития являются расширение номенклатуры блоков и накопление опыта применения платформы различными разработчиками.

Список литературы

1. Основные подходы к построению схем управления питанием GaN СВЧ-усилителей мощности / Е. Савченко, А. Мартынов, А. Першин, М. Селиванов // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2024. – № 9(240). – С. 96-102.

2. ЭКБ систем питания GaN СВЧ-усилителей мощности / Е. Савченко, А. Мартынов, А. Першин, М. Селиванов // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2025. – № 4(245). – С. 44-48.
3. «СВЧ КИТ»: Официальный сайт. – Москва. – URL: <https://svch-kit.ru/> (дата обращения: 08.04.2026).
4. Савченко Е., Першин А., Гладких М., Селиванов М. Применение измерительных СВЧ-усилителей средней и большой мощности для исследования параметров GaN монолитных интегральных схем // СВЧ-электроника. 2022. № 1(20). С. 52–56
5. Разработка печатных плат «СВЧ КИТ»: База знаний «СВЧ КИТ». – Москва. – URL: <https://wiki.svch-kit.ru/xwiki/bin/view/Rukovodstva/Razrabotka-pechatnykh-plat-SVCH-KIT/> (дата обращения: 08.04.2026).
6. Гаранович Д., Григорьев О. Быстрое прототипирование СВЧ-трактов на отечественной ЭКБ с помощью системы «СВЧ КИТ» // СВЧ-электроника. — 2025. — №4. — С. 52–54